

火山モニタリングにおける
「観測データに有意な変化があったと
判断する目安」について

報告書

令和2年3月6日

原子炉安全専門審査会

原子炉火山部会

目 次

| | |
|----------------------------------|---|
| I. 経緯・目的 | 1 |
| II. 観測データに有意な変化があったと判断する目安に係る検討 | 3 |
| 1. 観測データに有意な変化があったと判断する目安の位置付け | 3 |
| 2. 観測データに有意な変化があったと判断する目安の検討方針 | 4 |
| 3. 観測データに有意な変化があったと判断する目安に係る監視項目 | 5 |
| 4. 火山部会の関与 | 5 |
| III. まとめ | 8 |
| 文献 | 9 |

I. 経緯・目的

原子力規制委員会は、新規制基準適合性審査において、原子力発電所への火山影響を適切に評価するため、平成25年6月19日に「原子力発電所の火山影響評価ガイド」¹（以下「火山影響評価ガイド」という。）を制定し、その一部を分かりやすさの観点から記載の見直しを行い、令和元年12月18日に改正した。

この火山影響評価ガイドでは、まず、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、次に、抽出された火山について、原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価²を行う。この個別評価において、運用期間中に、設計対応不可能な火山事象³が原子力発電所に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価した火山であっても、この評価とは別に、監視対象火山⁴に対して、評価時からの状態の変化の検知により評価の根拠が維持されていることを確認することを目的として、発電用原子炉設置者（以下「事業者」という。）は、運用期間中の火山活動のモニタリングを行う。事業者は、モニタリング結果を定期的に評価し、監視対象火山の活動状況を把握し、状況に有意な変化がないことを確認した上で、その結果を原子力規制委員会に報告している。また、事業者は、モニタリングにより観測データの有意な変化を把握した場合には、状況に応じた判断・対応を行うことになる。

一方、この事業者の状況に応じた判断・対応とは別に、原子力規制委員会は、原子力規制委員会設置法（平成24年法律第47号）第14条の規定に基づき、原子炉安全専門審査会に対して、「原子力規制委員会が策定する原子炉の停止等に係る判断の目安」について、調査審議を行うように指示をした⁵。原子炉安全専門審査会へ指示のあった上記調査審議事項は、原子炉火山部会（以下「本部会」という。）へ付託され、その調査審議を本部会で行うこととなった。

本部会では、上記調査審議事項の検討を行う過程において、原子力規制委員会から指示のあった目安とは、①平常時の火山活動とは異なる兆候を継続的に示している場合の目安なのか、②「設計対応不可能な火山事象が、原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性が十分小さい」とする前提条件が失われた場合の目安なのか、という2つの

¹ 「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（令和元年12月18日改正、原規技発第1912182号、原子力規制委員会決定）

² 「火山活動の個別評価」は、設計対応不可能な火山事象が発生する時期及びその規模を的確に予測できることを前提とするものではなく、現在の火山学の知見に照らして現在の火山の状態を評価するものである。

³ ここで対象とする「設計対応不可能な火山事象」とは、「火砕物密度流（特に、火砕流）」である。なお、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達する可能性が十分小さいと評価できない場合は、原子力発電所の立地は不適となる。

⁴ 第四紀に設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の敷地に到達した可能性が否定できない火山を監視対象火山という。

⁵ 「原子炉安全専門審査会への指示について（通知）」（平成28年3月25日、原規規発第1603251号、原子力規制委員会）

考え方ができることについて整理した。その結果、本部会は、現在の巨大噴火⁶に係る科学的知見を考慮し、巨大噴火の前段階で何らかの前兆現象が生じることは想定されるものの、歴史記録として巨大噴火を経験しておらず、地質学的な情報を基にした研究が進められている段階であり、原子炉の停止等に係る判断の目安となる前兆現象を明確に定義することは困難であることから、現在の科学的知見で検討可能である、「平常時の火山活動とは異なる兆候を継続的に示している場合の目安」であると考え方を整理した。その上で、モニタリングにおける観測データに、過去からの長期的な傾向と比較して、大きな変化が生じ、かつ、それが継続しているといった観測結果が得られた場合、「モニタリングの監視強化」を行うことを想定し、その判断に用いるための目安、すなわち、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」として調査審議を行うこととした。

「観測データに有意な変化があったと判断する目安」は、定量的に定めるものではなく、傾向の変化を重視しつつ、火山モニタリングにおいて観測されているデータの時空間的变化に着目し、それらの急激な増減や消長、あるいは、傾向の著しい転換等の観点、並びに、火山噴出物の組成（質的）変化の観点から検討した。その検討結果として、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」に該当するかどうかを判断するために必要な監視項目及び確認事項をチェックリストとして取りまとめた。

本部会は、平成28年10月17日から令和2年3月6日までの合計8回開催し、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」の位置付け、検討方針、モニタリングにおける監視項目について調査審議を行った。また、当該目安作成にあたり、監視項目を抽出するため、比較的噴火規模の大きい国内外の火山活動に伴う観測事例⁷、九州電力株式会社（以下「九州電力」という。）「川内原子力発電所及び玄海原子力発電所火山活動のモニタリング評価結果」⁸、気象庁の火山情報⁹及び最近の科学的知見も参考とした。

⁶ 「巨大噴火」とは、地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km³程度を超えるようなものをいう。

⁷ 比較的噴火規模の大きい国内外の火山活動に伴う観測事例として、ピナツボ（1991年）、セントヘレンズ（1980年）、エルチヨン（1982年）、桜島（1914年）及びクラカタウ（1883年）を参考とした。

⁸ 九州電力は、川内原子力発電所原子炉施設保安規定及び玄海原子力発電所原子炉施設保安規定に基づき、火山活動のモニタリングに係る評価結果を毎年、原子力規制委員会へ報告している。なお、九州電力が監視対象火山としているのは、阿蘇カルデラ、加久藤・小林カルデラ、始良カルデラ、阿多カルデラ及び鬼界の5つのカルデラ火山である。

⁹ 「気象庁の火山情報」とは、例えば、火山噴火予知連絡会資料や火山活動解説資料等である。

II. 観測データに有意な変化があったと判断する目安に係る検討

1. 観測データに有意な変化があったと判断する目安の位置付け

ここでは、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」の位置付けについて検討した結果を示す。

原子力規制委員会は、九州電力川内原子力発電所及び玄海原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査では、原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価において、過去に巨大噴火を発生させたカルデラについては、噴火履歴の特徴及び地下構造から、火山の現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではない¹⁰こと等から、原子力発電所の運用期間中に巨大噴火が発生する可能性は十分小さいと判断している。また、運用期間中に考慮する最大規模の火山事象として、最後の巨大噴火以降の最大の噴火規模（例えば、始良カルデラの場合は、約 1.3 万年前に発生した VEI6 クラスの桜島薩摩噴火）を考慮しても、設計対応不可能な火山事象が川内原子力発電所及び玄海原子力発電所の敷地に到達する可能性は十分小さいと判断している。

九州電力は、設置変更許可時に、原子力発電所の運用期間中において設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価した火山であっても、この評価とは別に、監視対象火山に対して、評価時からの状態の変化の検知により評価の根拠が維持されていることを確認することを目的として、川内原子力発電所原子炉施設保安規定及び玄海原子力発電所原子炉施設保安規定に基づき、火山活動のモニタリングに係る評価結果を毎年、原子力規制委員会へ報告している。当該報告では、カルデラ火山を対象として、カルデラ周辺の広域的な地殻変動（基線長等の変化）と地震活動（発生数や発生場所の変化）に着目し、それらが過去からの長期的な傾向と比較して、大きく変化し、それが継続していないかどうかを GNSS 連続観測データや気象庁の一元化震源データを収集・分析することにより確認している。

以上のことから、モニタリングにおける観測データが、過去からの長期的な傾向と比較して、大きな変化が生じ、かつ、それが継続しているといった観測結果が得られた場合、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」と考える。例えば、1914 年桜島大正噴火規模 (VEI4) 程度の噴火が発生し、その後、観測データが想定される変化量を超えて変化し、また、複数の監視項目の観測データにおいて、この変化が継続的に見られることをもって、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」に該当すると位置付ける。

¹⁰ 火山影響評価ガイドでは、「火山の現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではない」ことの評価に当たっては、現在の火山学の知見に照らした調査を尽くした上で、検討対象火山における巨大噴火の活動期間、最後の巨大噴火からの経過時間、現在のマグマ溜まりの状況、地殻変動の観測データ等から総合的に評価を行うこととされている。

2. 観測データに有意な変化があったと判断する目安の検討方針

「観測データに有意な変化があったと判断する目安」を検討するにあたり、以下の3つの方針を定めた。

(1) 検討方針1：モニタリングにおける監視項目の抽出と分類

国内外の火山活動に伴う観測事例を参考とし、連続的にデータ取得を行うことができるかどうか、データ取得に噴火時等の制限があるかどうかの観点から、監視項目を、「①主な監視項目」及び「②その他の監視項目」に分けて設定した。

「①主な監視項目」については、過去30年程度の間、継続的に観測データが取得されているものの、火山の活動期間と比較するとわずかな期間であることから、今後も継続して基礎データを連続して取得するとともに、状態変化を確認すべき監視項目としている。

「②その他の監視項目」については、連続的なデータ取得を行うことができるものではなく、噴火時に限られる等データ取得に制限はあるが、「①主な監視項目」のみならず火山の状態を確認することができることから、監視項目としている。また、地下構造は、状況に応じて調査を行う監視項目とする。

- ① 主な監視項目：状態変化を把握できるように連続的にデータ取得を行う項目
 - ・「地震活動」
 - ・「地殻変動・地盤変動（GNSS、水準測量、衛星観測、傾斜計・伸縮計）」
 - ・「火山ガス・熱活動（表面活動）」
- ② その他の監視項目：状況に応じて情報収集やデータ取得を行う項目
 - ・「噴出場所及び噴出物」
 - ・「噴火様式」
 - ・「地下構造」

なお、公的機関の既存観測網によるデータの収集・分析に基づき、気象庁の火山情報や公的機関の評価も行われているため、これらの情報も参考とする。

(2) 検討方針2：モニタリングにおける監視項目の評価視点

火山モニタリングにおいて観測されているデータの時空間的变化に着目し、それらの急激な増減や消長、あるいは、傾向の著しい転換等の観点、並びに、火山噴出物の組成（質的）変化の観点から検討する。

(3) 検討方針3：モニタリングにおける監視項目のデータの範囲

監視項目を抽出するにあたり参考とした比較的噴火規模の大きい国内外の火山活動に伴う観測事例、九州電力から提出される「川内原子力発電所及び玄海原子力発電所 火山活動のモニタリング評価結果」を参考とする。また、気象庁の火山情報及び公的機関の評価や、最新の科学的知見も参考とする。

3. 観測データに有意な変化があったと判断する目安に係る監視項目

「観測データに有意な変化があったと判断する目安」とは、モニタリングにおける観測データに、過去からの長期的な傾向と比較して、大きな変化が生じ、かつ、それが継続しているといった観測結果が得られた場合とした。Ⅱ. 2. 観測データに有意な変化があったと判断する目安の検討方針に基づき、この目安を判断するために必要な監視項目及び確認事項をチェックリストとして、表1及び表2として取りまとめた。

「観測データに有意な変化があったと判断する目安」に該当するかどうかの判断については、気象庁の火山情報や公的機関の評価も参考とし、表1及び表2に取りまとめたチェックリストとともに、以下の点にも留意して検討を行う。

- (1) 単独ではなく複数の監視項目の観測データに有意な変化があるかどうか。
- (2) 「①主な監視項目（地震活動、地殻変動・地盤変動（GNSS、水準測量、衛星観測、傾斜計・伸縮計）、火山ガス・熱活動（表面活動）」及び「②その他の監視項目（噴出場所及び噴出物、噴火様式、地下構造）」に有意な変化があるかどうか。

4. 火山部会の関与

本部会は、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」に該当したかどうかを整理した原子力規制委員会の事務局である原子力規制庁の判断を確認するとともに、必要に応じて留意事項等を助言する。原子力規制庁は、本部会の助言を考慮した上で「観測データに有意な変化があったと判断する目安」に該当したかどうかの判断を行う。

表 1. 「①主な監視項目」におけるチェックリスト

| 監視項目 | 確認事項 |
|-----------------------------------|---|
| 地震活動 | <p><input type="checkbox"/> 既往の構造性地震、火山性地震等の地震発生領域（震源分布）の拡大又は消滅、あるいは、新たな地震発生領域の出現</p> <p><input type="checkbox"/> 地震発生数の急激な変化（増加又は減少）</p> <p>【解説】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 既往の地震発生領域の時空間的变化に着目し、震源分布の拡大や消滅、新たな地震発生領域の出現を注視する。 |
| 地殻変動・地盤変動（GNSS、水準測量、衛星観測、傾斜計・伸縮計） | <p><input type="checkbox"/> GNSS 連続観測による基線長や上下変動の急激な傾向の変化（増加又は減少）、水準測量による地盤の上下変動の急激な傾向の変化（隆起又は沈降）</p> <p><input type="checkbox"/> 既往の地殻変動とは異なる場所での地殻変動（GNSS、水準測量、衛星観測）の出現と急速な進展</p> <p><input type="checkbox"/> 傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化</p> <p>【解説】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ GNSS 連続観測による基線長に、既往の増加（伸長）又は減少（短縮）傾向と比較して、それらに急激な変化が生じていないか時間変化に着目する。 ・ GNSS 連続観測による上下変動や水準測量に、既往の上下変動の傾向と比較して、それらに急激な変化が生じていないか、あるいは、これまで変化が見られなかった場所での隆起及び沈降がないかを注視する。 |
| 火山ガス・熱活動（表面活動） | <p><input type="checkbox"/> 既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、あるいは、放出場所の出現（新たな火口や火道の形成など）</p> <p><input type="checkbox"/> 火山ガスの放出量に急激な傾向の変化（増加又は減少）</p> <p>【解説】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 既往の火山ガス放出場所の拡大や消滅に着目し、新たな火口や火道の形成など、放出場所の変化に着目する。 |

表2. 「②その他の監視項目」におけるチェックリスト

| 監視項目 | 確認事項 |
|------------------|--|
| <p>噴出場所及び噴出物</p> | <p><input type="checkbox"/> 既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成</p> <p><input type="checkbox"/> マグマ成分の物理的・化学的性質の変化（例えば、玄武岩質ないし安山岩質から流紋岩質への変化等）</p> <p>【解説】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 例えば、阿蘇カルデラでは、阿蘇4噴火の前にカルデラ周縁部において、高遊原溶岩等の噴出物が地質調査等により確認されており、それ以前の噴出物とは異なり、阿蘇4噴出物と同様に角閃石斑晶を含む¹⁾。その化学組成は、阿蘇4噴出物ほどではないが珪長質に富んでいる²⁾。なお、この溶岩流出後、数100年の時間を経て爆発的な阿蘇4火砕流噴火が起きたと考えられている³⁾。 ・ マグマの急激な化学組成の変化は、今後の噴火活動の推移及び質的变化を判断する目安となる。 ・ マグマ成分の物理的・化学的性質の急激な変化が生じたからといって、必ずしも巨大噴火の発生に直結するものではない。 |
| <p>噴火様式</p> | <p><input type="checkbox"/> 噴煙柱高度が数十 km 程度のプリニー式噴火の発生と更なる活動拡大化の傾向</p> <p>【解説】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 噴煙柱高度、噴火継続時間、噴出物の量等からの総合的な判断指標。 |
| <p>地下構造</p> | <p><input type="checkbox"/> 地震波速度構造や比抵抗構造により、地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、あるいは、新たな低速度及び低比抵抗領域の出現</p> <p>【解説】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 探査深度や分解能等の技術的課題や海域での調査の困難さはあるものの、まずは場として平常時の地下構造を把握しておく必要がある。その上で、①主な監視項目における地震活動や地殻変動において、有意な変化の可能性がある場合、状況に応じて地下構造調査を行う。 ・ 地震波速度（Vp、Vs）及び比抵抗は、岩石の種類、流体の飽和度、温度及び圧力により変化するため、地下の流体や高温異常の空間分布を把握するための重要な手掛かりとなる。一般に、低Vpかつ高Vp/Vs領域は、マグマ等の流体の存在を示唆し、低Vpかつ低Vp/Vs領域は、水の存在を示唆する（Nakajima et al., 2001）⁴⁾。また、比抵抗は、地震波速度と比較して、マグマ等の流体や水の存在に対して感度は高いという長所はあるが、両者の区別を行うことが難しいという短所もある。 |

Ⅲ. まとめ

本部会では、原子力規制委員会から指示のあった調査審議事項である「原子力規制委員会が策定する原子炉の停止等に係る判断の目安」の位置付けを整理し、モニタリングにおける観測データに、過去からの長期的な傾向と比較して、大きな変化が生じ、かつ、それが継続しているといった観測結果が得られた場合、「モニタリングの監視強化」を行うことを想定し、その判断に用いるための目安、すなわち、「観測データに有意な変化があったと判断する目安」として調査審議を行った。また、この目安に該当するかどうかを判断するために必要な監視項目を「①主な監視項目」と「②その他の監視項目」とに分けて整理するとともに、これらの監視項目における確認事項をチェックリストとして取りまとめた。「①主な監視項目」は、今後も継続して基礎データを取得するとともに、状態変化を確認すべき監視項目であり、「②その他の監視項目」は、連続的なデータ取得を行うことができるものではなく、噴火時に限られる等データ取得に制限はあるが、「①主な監視項目」のみならず火山の状態を確認することができる監視項目である。

なお、本報告書で示した「観測データに有意な変化があったと判断する目安」に該当するかどうか判断するための個々の監視項目及び確認事項のチェックリストについては、科学的知見の蓄積に伴い、今後見直すこともあることを付記する。

文 献

- 1) 渡辺一徳・小野晃司(1966):阿蘇カルデラ西側, 大峰付近の地質, 地質学雑誌, **75**(7), 365-374.
- 2) 黒川聖・長谷中利昭・山崎秀人・森康(2013):阿蘇-4 火砕流噴火直前に流出した高遊原溶岩についての岩石学的研究, 日本火山学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, 124.
- 3) 小林哲夫・星住英夫(2017):阿蘇 4 火砕流堆積物と高遊原溶岩が重なる露頭, 日本火山学会 2017 年度秋季大会講演予稿集, 127.
- 4) Nakajima J., T. Matsuzawa, A. Hasegawa and D. Zhao (2001): Seismic imaging of arc magma and fluids under the central part of northeastern Japan, *Tectonophysics*, **341**, 1-17.

原子炉安全専門審査会 原子炉火山部会 委員名簿

令和2年3月6日現在

○原子炉安全専門審査会 審査委員

(部会長)

小林 哲夫 国立大学法人鹿児島大学 名誉教授

(部会長代理)

村上 亮 国立大学法人北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
教授（平成30年3月31日まで）

同 特任教授（平成30年4月1日から）

○原子炉安全専門審査会 臨時委員

大倉 敬宏 国立大学法人京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設
火山研究センター 教授

宮町 宏樹 国立大学法人鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻 教授

○原子炉安全専門審査会 専門委員

篠原 宏志 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター
活断層・火山研究部門 首席研究員

棚田 俊收 国立研究開発法人防災科学技術研究所火山防災研究部門
部門長 総括主任研究員（平成31年3月31日まで）

同 特別研究員（平成31年4月1日から）

○関係行政機関

斎藤 誠 気象庁地震火山部火山課長（平成31年3月31日まで）

加藤 孝志 気象庁地震火山部火山課長（平成31年4月1日から）

檜山 洋平 国土地理院測地観測センター 地震調査官（平成29年3月31日まで）

宮川 康平 国土地理院測地観測センター 地震調査官

（平成29年4月1日から平成30年3月31日まで）

黒石 裕樹 国土地理院測地観測センター 地震調査官（平成30年4月1日から）

原子炉安全専門審査会 原子炉火山部会 検討経過

第1回（平成28年10月17日）

- ・ 原子炉火山部会の調査審議事項等
- ・ 原子力規制委員会が行う発電用原子炉設置者の火山モニタリング結果に係る評価について
- ・ 原子力規制委員会が策定する火山活動に係る原子炉の停止等に係る判断の目安について

第2回（平成29年11月1日）

- ・ 原子力規制委員会が行う発電用原子炉設置者の火山モニタリング結果に係る評価について
- ・ 原子力規制委員会が策定する火山活動に係る原子炉の停止等に係る判断の目安について

第3回（平成30年4月13日）

- ・ 原子力規制委員会が策定する原子炉の停止等に係る判断の目安について

第4回（平成30年8月10日）

- ・ 原子力規制委員会が行う発電用原子炉設置者の火山モニタリング結果に係る評価について
- ・ 原子力規制委員会が策定する原子炉の停止等に係る判断の目安について

第5回（平成31年3月22日）

- ・ 原子力規制委員会が策定する「原子炉の停止等に係る判断の目安」について
- ・ 大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究について

第6回（令和元年11月27日）

- ・ 原子力規制委員会が行う発電用原子炉設置者の火山モニタリング結果に係る評価について
- ・ 観測データに有意な変化があったと判断する目安について

第7回（令和2年2月6日）

- ・ 火山モニタリングにおける「観測データに有意な変化があったと判断する目安」について 報告書（案）

第8回（令和2年3月6日）

- ・ 火山モニタリングにおける「観測データに有意な変化があったと判断する目安」について 報告書（案）
- ・ 大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究について